



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

⑨7 EP 0 865 616 B 1

⑩ DE 696 19 691 T 2

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 02 B 5/18**  
B 42 D 15/10  
G 06 K 19/16

|    |   |                |
|----|---|----------------|
| ②1 | Deutsches Aktenzeichen:                               | 696 19 691.3   |
| ⑧6 | PCT-Aktenzeichen:                                     | PCT/GB96/03016 |
| ⑨6 | Europäisches Aktenzeichen:                            | 96 941 141.2   |
| ⑧7 | PCT-Veröffentlichungs-Nr.:                            | WO 97/21121    |
| ⑧6 | PCT-Anmeldetag:                                       | 6. 12. 1996    |
| ⑧7 | Veröffentlichungstag<br>der PCT-Anmeldung:            | 12. 6. 1997    |
| ⑨7 | Erstveröffentlichung durch das EPA:                   | 23. 9. 1998    |
| ⑧7 | Veröffentlichungstag<br>der Patenterteilung beim EPA: | 6. 3. 2002     |
| ④7 | Veröffentlichungstag im Patentblatt:                  | 22. 8. 2002    |

DE 696 19 691 T 2

③0 Unionspriorität:  
9524862                      06. 12. 1995    GB

⑦3 Patentinhaber:  
De La Rue International Ltd., Basingstoke,  
Hampshire, GB

⑦4 Vertreter:  
U. Knoblauch und Kollegen, 60322 Frankfurt

⑧4 Benannte Vertragsstaaten:  
CH, DE, ES, FR, GB, IT, LI, NL

⑦2 Erfinder:  
LARGE, Andrew, Timothy, Cambridge CB3 8UQ, GB

⑤4 VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER BEUGUNGSSTRUKTUR

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 696 19 691 T 2

02.03.02

96 941 141.2  
EP 0 865 616

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Beugungsgitters.

Auf vielen Anwendungsgebieten ist ein Beugungsgitter  
5 mit Reflexionseigenschaften erwünscht, die nicht von einer speziellen begrenzten Beleuchtung und den Blickwinkeln zur Erzeugung von Farbe abhängen.

Beispielsweise bestehen bei Sicherheitsfilmen Sicher-  
10 heitshologramme gewöhnlich aus einer thermisch gebildeten Kunststoffschicht mit einer auf der thermisch gebildeten Kunststoffschicht niedergeschlagenen reflektierenden Aluminiumfolie. Das Hologramm ist durch ein Oberflächenrelief gebildet. Das Fehlen irgendeiner Ab-  
15 sorption in der Struktur und die Winkelempfindlichkeit eines holographischen Bildes bedeuten, daß das Hologramm bei diffuser Beleuchtung (zum Beispiel vollem Tageslicht oder in durch viele Lampen erhellten Räumen)

BEST AVAILABLE COPY

nicht gesehen werden kann oder nur in einem sehr schmalen Bereich von Blickwinkeln sichtbar ist.

Ferner wären beispielsweise Beugungspigmente, zum Beispiel solche, wie sie in der JP-A-63/172779 offenbart sind, durch eine Beugungsstruktur begünstigt, die nicht "ausgewaschen" und bei normalen Sichtverhältnissen im Freien nicht farblos erscheint. Die JP-A-63/172779 offenbart ein Pigment, das aus einer Vielzahl von Teilchen besteht, die jeweils in ihrer Oberfläche Rillen aufweisen, die ein Beugungsgitter bilden. Da die Beugungsgitter auf den Teilchen stark winkelabhängig sind und keine natürliche Absorption bewirken, ist der Beugungsfarbeeffer nur unter sehr heller, genau ausgerichteter Beleuchtung, zum Beispiel direktem Sonnenschein oder Scheinwerferbeleuchtung, sichtbar. Bei diffuser Beleuchtung (zum Beispiel bei bedecktem Himmel) würde das in der JP-A-63/172779 offenbarte Pigment grau erscheinen.

20

In der EP-A-0303355 ist ein Hologramm/Beugungsmedium mit einer Vielzahl von periodisch auseinanderliegenden abgestuften Strukturen offenbart, die alle in Richtung der Tiefe des Mediums verteilt sind, wobei das Medium durch Einprägung einer Nickelreplik, die zuvor von einer Photoresist-Matrix abgeformt wurde, gebildet ist.

25

Gemäß einem ersten Aspekt besteht vorliegende Erfindung in einem Verfahren zur Herstellung einer Beugungsstruktur mit einem weitgehend ebenen Substrat und einem Satz Facetten, die in oder auf dem Substrat ausgebildet sind, wobei die Ebene oder Ebenen, in denen die Facetten liegen, unter einem von Null abweichenden Winkel zur Ebene des Substrats angeordnet sind und die Facet-

30

ten ein darauf ausgebildetes Beugungsgitter aufweisen, wobei das Verfahren die folgenden Schritte beinhaltet:

- 5 A) das Herstellen einer Form durch anisotropes Ätzen eines Siliciumsubstrats zur Ausbildung einer Vielzahl von Facetten auf der Form;
- B) das Beschichten der Form mit einer Abdeckschicht;
- C) das Einschreiben der Feinstruktur des Beugungsgitters unmittelbar in die Abdeckung mittels eines Elektronenstrahls oder eines Ionenstrahls;
- 10 D) das Herstellen einer Matrix aus der Form und
- E) das Herstellen des Beugungsgitters aus der Matrix.

Gemäß einem zweiten Aspekt besteht die Erfindung in einem Verfahren zur Herstellung einer Beugungsstruktur, die eine erste Reihe Facetten, die in weitgehend der gleichen ersten Ebene liegen, und eine zweite Reihe Facetten aufweist, die in weitgehend der gleichen zweiten Ebene liegen, wobei die zweite Ebene einen Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  mit der ersten Ebene einschließt, so daß die erste Reihe Facetten und die zweite Reihe Facetten einander gegenüberliegen, wobei auf jeder Facette ein Beugungsgitter ausgebildet ist und das Verfahren folgende Schritte beinhaltet:

- 25 A) das Herstellen einer Form durch anisotropes Ätzen eines Siliciumsubstrats zur Ausbildung einer Vielzahl von Facetten auf der Form;
- B) das Beschichten der Form mit einer Resist-Schicht;
- C) das Schreiben der Feinstruktur des Beugungsgitters unmittelbar auf dem Resist mittels eines Elektronenstrahls oder eines Ionenstrahls,
- 30 D) das Herstellen einer Matrix aus der Form und
- E) das Herstellen der Beugungsstruktur aus der Matrix.

Bevorzugte Merkmale der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

So wird bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung eine prismatische Oberflächenstruktur aus einer Anordnung weitgehend ebener Facetten in einer Polymerschicht ge-  
5 formt. Diese Facetten liegen vorzugsweise im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  quer und unter einem vorbestimmten Winkel zu der Ebene der Polymerschicht. Eine gerillte Oberfläche, eine regelmäßige Anordnung aus Tetraedern, quadratischen Pyramiden oder einer Eckkubusstruktur  
10 (bei der die Facetten alle Quadrate sind) sind Beispiele einer solchen Prismastruktur. Auf der Oberfläche jeder Facette ist eine Beugungsstruktur ausgebildet. Diese kleinere Struktur kann (ohne darauf beschränkt zu sein) eine Anordnung von Rillen, ein gekreuztes Gitter  
15 oder eine zweidimensionale Anordnung von Vertiefungen und Spitzen, wie zum Beispiel die bekannte "Mottenaugen"-Struktur, sein. Die kleinere Struktur hat typische Abmessungen, die von der halben Facettengröße bis herab zu 0,1  $\mu\text{m}$  reichen. Diese Struktur ist vorzugswei-  
20 se metallisiert, zum Beispiel so, daß sie unter bestimmten Einfallswinkeln das Licht absorbiert, unter anderen Einfallswinkeln jedoch das Licht stark beugt.

Erfindungsgemäß wird eine Beugungsstruktur geschaffen,  
25 die in einem weiten Bereich von Blick- und Beleuchtungswinkeln Farbe erzeugt. Die Beugungsstruktur kann auf einfache Weise unter Verwendung herkömmlicher Folienbildungskunststoffe hergestellt werden.

30 Nachstehend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen beschrieben. Darin stellen dar:

- Fig. 1 eine schematische perspektivische Ansicht eines Beispiels einer erfindungsgemäßen Beugungsstruktur,
- 5 Fig. 2 und 3 schematische Ansichten weiterer Beispiele erfindungsgemäßer Beugungsstrukturen,
- Fig. 4 einen schematischen Querschnitt durch eine mit einem Polymer gefüllte Beugungsstruktur,
- 10 Fig. 5 eine schematische Darstellung eines auf die Beugungsstruktur fallenden Lichtstrahls,
- 15 Fig. 6 die Verteilung von auf die Oberfläche einer Polymerschicht der Beugungsstruktur auftreffenden Lichtstrahlen,
- Fig. 7 die Verteilung von einfallenden Lichtstrahlen in der Polymerschicht der Beugungsstruktur,
- 20 Fig. 8 die Verteilung von auf das Beugungsgitter der Beugungsstruktur auftreffenden Lichtstrahlen,
- 25 Fig. 9 die Verteilung von Lichtstrahlen, die durch das Gitter der Beugungsstruktur gebeugt werden,
- 30 Fig. 10 die Verteilung von Lichtstrahlen, die die Beugungsstruktur verlassen, und
- Fig. 11 eine CIE (Commission International de l'Eclairage)-Farbtafel, die zeigt, wie sich
- 35

die empfangene Farbe mit dem Blickwinkel ändert.

Fig. 1 stellt eine Beugungsstruktur 100 dar, die durch ein Substrat 1 mit einer Anordnung aus Facetten 2 gebildet ist. Die Facetten 2 sind bei diesem Beispiel durch dreieckige Facetten 2 aus einer Anordnung aus Pyramiden 3 mit quadratischer Grundfläche gebildet. Die Pyramiden 3 sind in oder auf dem Substrat 1 so ausgebildet, daß ihre quadratischen Grundflächen 4 in der gleichen Ebene liegen, so daß jeweils Reihen aus koplanaren Facetten 2 gebildet werden. Die Länge jeder Seite der quadratischen Grundflächen 4 der Pyramiden 3 kann im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  liegen. Jede Facette 2 der Pyramiden 3 hat auf sich eine Beugungsstruktur, zum Beispiel ein regelmäßiges Beugungsgitter 5, das durch Rillen oder Linien 6 mit regelmäßigem Abstand dazwischen gebildet ist. Das Beugungsgitter 5 hat bei diesem Beispiel eine Periode von 300 nm (d.h. der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Linien 6 beträgt 300 nm) bei einer Höhe (d.h. der Tiefe der Linien 6) von etwa 100 nm.

Anstelle von Pyramiden 3 mit quadratischer Grundfläche können die zweidimensionalen Facetten 2 auf den Stirnflächen von Pyramiden mit dreieckiger Grundfläche, regelmäßigen Tetraedern (siehe Fig. 2), einer Eckkubusstruktur (bei der alle oder weitgehend alle Facetten quadratisch sind) oder irgendeinem anderen Polyeder oder Strukturen ausgebildet sein, die eine Reihe von gleichen oder weitgehend gleichen Facetten bilden, die aus der Ebene des Substrats 1 unter einem Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  zur Ebene des Substrats 1 vorstehen.

Anstelle eines linienförmigen Beugungsgitters, wie vorstehend beschrieben, kann eine zweidimensionale Anordnung aus Vertiefungen und Spitzen, wie der bekannten "Mottenaugen"-Struktur, die in Fig. 3 dargestellt ist, als das Beugungsgitter 5 verwendet werden.

Allgemein gesagt, kann die Länge der Grundflächen der Facetten 3 im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  liegen. Die Teilung des Beugungsgitters 5, das auf einer Facette 2 ausgebildet ist, kann im Bereich von 0,1  $\mu\text{m}$  bis etwa der halben Facettengröße liegen, und zwar bei einer maximalen Größe von 0,5  $\mu\text{m}$ .

Da die Beugungsgitterstruktur 5 unter einem Winkel zur Senkrechten zum Substrat 1 liegt, können Unterwellenlängen-Beugungsgitter verwendet werden, die mithin eine minimale Dispersion (d.h. eine geringstmöglichen Farbbänderung mit dem Winkel) und Begrenzung einiger Farben, die nicht reflektiert werden können, weil ihre Wellenlänge zu groß ist, bewirken.

Ferner ermöglichen sich gegenüberliegende Facetten 2 das Einfangen kurzwelliger Farben, weil sie unter einem größeren Winkel in bezug auf die Facetten als längere Wellenlängen gebeugt werden.

Bei der bevorzugten Ausführungsform gibt es daher zwei Einrichtungen zur Farbauswahl. Blend- (oder Glanz- oder Tarn-)Farbeffekte können daher selbst unter diffuser Beleuchtung und ohne die Verwendung von Pigmenten oder Farbstoffen erzeugt werden.

Zweidimensionale Facettenstrukturen, wie beschrieben, zum Beispiel Facettenanordnungen aus Pyramiden oder Tetraedern, verringern die Empfindlichkeit der Beu-



gungsstruktur 100 auf Drehung der Struktur 100 in ihrer eigenen Ebene oder aus ihrer Ebene heraus, die in einer eindimensionalen Facettenstruktur zu sehen wäre. Wie nachstehend daher noch ausführlicher erläutert wird, erzeugt die erfindungsgemäße Beugungsstruktur 100 Farbbilder in einem weiten Bereich von Beleuchtungsbedingungen und Blickwinkeln.

Die Anwendung einer V-Rillen- (d.h. eindimensionalen) Struktur für die Facetten 2 bedeutet, daß der Farbeffekt vom Drehwinkel des Substrats in seiner Ebene abhängt, obwohl eine relative Empfindlichkeit der Struktur auf eine Drehung aus ihrer Ebene heraus weiterhin erhalten bleibt.

15

Nachstehend wird ein Beispiel eines Verfahrens zur Herstellung der Beugungsstruktur 100 beschrieben.

Zuerst wird ein Nicht-Eisenmaterial, zum Beispiel Bronze oder Kupfer, maschinell mittels eines sehr scharfen (nicht dargestellten) Diamant-Werkzeugs zur Ausbildung einer Form bearbeitet, die weitgehend mit der Beugungsstruktur 100, die letztlich hergestellt werden soll, übereinstimmt. Die Diamant-Spitze des Werkzeugs kann einen Innenwinkel von  $30^\circ$  haben. Das Werkzeug wird zum Einschneiden einer Rille bis zu einer ersten Tiefe benutzt, um eine Schnittfläche mit einer Länge zu erhalten, die gleich der Teilung des auszubildenden Beugungsgitters ist. Dann wird die Rille mittels des Werkzeugs bis zu einer zweiten Tiefe eingeschnitten, um die Fläche bis zu einer Länge zu schneiden, die gleich dem Zweifachen der Teilung des Beugungsgitters ist. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis die Rille auf die gewünschte Tiefe zugeschnitten ist, wobei das Werkzeug bei jedem seiner aufeinanderfolgenden Durchgänge um ei-

nen solchen Betrag tiefer in das Formmaterial vorge-  
schoben wird, daß die eingeschnittene Fläche eine Länge  
erhält, die gleich der Teilung des auszubildenden Beu-  
gungsgitters ist. In Folge dieser aufeinanderfolgend  
5 tieferen Durchgänge des Bearbeitungswerkzeugs wird die  
Struktur des aus den Linien bestehenden Beugungsgitters  
durch die natürlichen Bearbeitungsmarkierungen gebil-  
det, die während der aufeinanderfolgenden Durchgänge  
des Werkzeugs entstehen. Die auf diese Weise einge-  
10 schnittene Rille (oder Nut) bildet eine erste Reihe von  
Facetten in dem Material. Die gegenüberliegende Reihe  
von Facetten 2' und weiteren Reihen aus Facetten, beide  
parallel und senkrecht zur ersten Facettenreihe, werden  
dann in ähnlicher Weise durch Einarbeitung weiterer  
15 Rillen gebildet, wobei die weiteren Rillen parallel und  
senkrecht zur ersten Reihe sind. Der Innenwinkel der  
gegenüberliegenden Facetten kann beispielsweise  $90^\circ$  be-  
tragen, obwohl er von der Geometrie und Höhe der Pyra-  
miden, Tetraeder oder anderen Polyeder abhängt, die die  
20 Facetten 2 bilden.

Um die Herstellung zu beschleunigen, kann eine Reihe  
ähnlicher Werkzeuge benutzt werden, um parallele Reihen  
aus Rillen zur Ausbildung von Facetten in einem Ar-  
25 beitsgang herzustellen. Orthogonale Reihen können durch  
Bewegen des gleichen oder eines anderen Satzes von  
Schneidwerkzeugen senkrecht zur ersten Facettenreihe  
geschnitten werden.

30 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung der Form  
ist folgendes: Die Form mit der Anordnung 3 aus Pyrami-  
den mit quadratischer Grundfläche, Pyramiden mit drei-  
eckiger Grundfläche, regelmäßiger Tetraeder-, Ekkubus-  
oder einer anderen Polyederstruktur wird durch ani-  
35 sotropes Ätzen in Silicium ausgebildet. Dies ergibt Fa-

5 cetten 2 mit sehr ebenen Flächen. Dann wird die Form mit einer Resist-Schicht überzogen. Die Feinstruktur, die das Beugungsgitter 5 bildet, wird dann mittels eines Elektronenstrahls oder eines Ionenstrahls unmittelbar in das Resist eingeschrieben.

10 Wie die Form auch immer ausgebildet wird, sie wird dann durch Elektroformung zu einer harten Matrix geformt, die ein Negativ der Form und daher auch ein Negativ der herzustellenden Beugungsstruktur 100 darstellt. Das Material der Matrix muß hinreichend hart sein, um damit einen Kunststoff oder ein anderes Material prägen zu können, aus dem die Beugungsstruktur 100 hergestellt wird. Beispielsweise kann die Matrix aus Nickel oder  
15 Kupfer hergestellt sein.

Die Matrix wird dann thermo-geformt, um eine Negativreplik (Kopie) der Matrix in einem Polymer in der gleichen Weise wie ein herkömmliches kommerzielles Hologramm auszubilden. Geeignete Polymere umfassen Polymethylmethacrylat oder Polycarbonat. Die Facetten 2 auf  
20 der Replik werden dann mit einer dünnen Schicht aus einem Metall, zum Beispiel Chrom, Kupfer, Nickel oder Aluminium, metallisiert, um die Beugungsstruktur 100 nach Fig. 1 herzustellen. Die Metallschicht kann 10 bis  
25 50 nm dick sein und erstreckt sich vorzugsweise diskontinuierlich über das kleine Abmessungen aufweisende Relief, das das Beugungsgitter 5 bildet, so daß das Beugungsgitter 5 teilweise absorbierend oder durchlässig  
30 ist und nur schwach sichtbar reflektiert.

Die Struktur 100 wird dann vorzugsweise mit einer Materialschicht 7 gefüllt. Das Material der Schicht 7 ist transparent und kann ein durch Lösungsmittelaustrocknung oder chemisch härtendes Polymer sein, so daß die  
35

Struktur 100 weitgehend ebene und parallele äußere Oberflächen erhält, und die innere Reliefstruktur wird mit einem Polymer 7 gefüllt, wie es in Fig. 2 dargestellt ist. Bei der Polymerschicht 7 kann es sich

- 5 zweckmäßigerweise um den Klebstoff handeln, der zum Befestigen der Beugungsstruktur 1 auf einem Substrat verwendet wird, auf dem sie angebracht wird.

- 10 In die Polymerschicht 7 eindringendes Licht wird durch die Facetten 2 gebeugt, absorbiert oder reflektiert. Ungebeugtes Licht wird entweder durch das Beugungsgitter 5 absorbiert oder wird sichtbar reflektiert. Wenn es sichtbar reflektiert wird, trifft es auf die benachbarte Facette 2, wo es wiederum absorbiert oder sichtbar reflektiert wird. Wenn das Beugungsgitter 5 so ausgelegt ist, daß nur 10% des einfallenden Lichtes sichtbar reflektiert werden kann, kann nur 1% nach zwei derartigen Reflexionen wieder austreten. Ohne eine Beugung ist die gesamte Struktur 100 daher weitgehend nicht-
- 20 reflektierend, so daß sie dem Betrachter schwarz erscheint. Das Beugungsgitter kann so ausgelegt sein, daß es die Lichtmenge verringert, die sichtbar reflektiert wird, indem sichergestellt wird, daß die Teilung des Gitters kleiner als die Wellenlänge des Lichts ist, das
- 25 auf das Gitter trifft, und indem die Tiefe des Gitters 5 so gewählt wird, daß das reflektierte Licht durch Interferenz gelöscht wird. Wenn die Oberfläche des Gitters 5 in der vorstehend vorgeschlagenen Weise mit einem "verlustbehafteten" Metall (d.h. einem Metall mit
- 30 geringem Reflexionsvermögen, wie Kupfer, Nickel oder Aluminium) beschichtet wird oder das Metall quer zu den Linien 6 des Gitters 5 diskontinuierlich ist, dann wird das einfallende Licht absorbiert und nicht reflektiert.

Die Beugung tritt auf, wenn die Wellenlänge des einfallenden Lichts, der Einfallswinkel des Lichts und die Periode des Beugungsgitters 5 den folgenden Zusammenhang haben:

5

$$\lambda/\eta = d \cdot \sin(\varphi) + d \cdot \sin(\theta)$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge des Lichts,  $\eta$  der Brechungsindex des Polymers 7, mit dem die Beugungsstruktur gefüllt ist,  $\varphi$  und  $\theta$  jeweils der Einfalls- und Beugungswinkel relativ zur Normalen 8 der Facette 2 und  $d$  die Periode des Beugungsgitters 5 ist, wie es in Fig. 5 dargestellt ist.

Die wahrgenommene Farbe der Struktur 100 kann durch Verfolgung der Strahlengänge der Strahlen berechnet werden, die in die Struktur 100 eintreten und sie durch Beugung verlassen. Die Fig. 6 bis 10 zeigen, wie sich die Verteilung der Strahlen ändert, wenn die Strahlen zuerst an der Polymeroberfläche beim Eintritt in das Polymer gebrochen, dann an der Facette gebeugt und erneut gebrochen werden, wenn sie das Polymer verlassen.

Fig. 6 zeigt ein Polardiagramm der auf eine Oberfläche auftreffenden Lichtintensität bei diffuser Beleuchtung, wobei die Oberfläche in diesem Fall die äußere Oberfläche der Polymerschicht 7 ist. Die Intensität nimmt mit dem Kosinus des Einfallswinkels ab. Diese Abhängigkeit ist als Lambertische Beleuchtung bekannt.

30

Wegen der Brechung an der Luft-Polymer-Grenze 9 ist der Winkelbereich, über den sich die Lichtstrahlen in der Polymerschicht 7 ausbreiten, verringert, wie es durch das Polardiagramm in Fig. 7 dargestellt ist.

Wie Fig. 8 zeigt, treffen die Strahlen dann in einem Winkelbereich auf das Beugungsgitter 5 an der Oberfläche der Facetten 2, und ein Teil der Strahlen wird reflektiert. Zur Vereinfachung der Beschreibung sei angenommen, daß i), wenn eine Beugung möglich ist, das gesamte Licht gebeugt wird, und ii), wenn keine Beugung möglich ist, das Licht absorbiert oder durch das Beugungsgitter 5 durchgelassen wird, wie es zuvor beschrieben wurde. Es versteht sich jedoch, daß sich die Beugungseffizienz in der Praxis mit der Wellenlänge und dem Winkel ändert.

Ein Teil des Lichts, das durch das Beugungsgitter 5 an einer bestimmten Facette 2 gebeugt wird, wird durch die benachbarte Facette 2 abgeschattet und verläßt die Beugungsstruktur 100 nicht. Das Polardiagramm in Fig. 9 stellt die Verteilung der an der Facette 2 der Beugungsstruktur 100 gebeugten Strahlen für drei verschiedene Wellenlängen dar. Diese Wellenlängen entsprechen den Spitzen der visuellen Farbantwort. Die durchgezogene Linie entspricht blauem Licht, die punktierte Linie entspricht grünem Licht und die gestrichelte Linie stellt rotes Licht dar.

25

Beim Austreten der Strahlen aus der Polymerschicht 7 werden sie erneut an der Luft-Polymer-Grenze 9 gebrochen. Fig. 10 stellt die Verteilung der Strahlen dar, die aus dem Beugungsgitter 100 nach der Brechung durch eine Facette 2 austreten.

30

Die an der einen Facette 2 austretenden Lichtstrahlen können zu den aus der benachbarten Facette 2 austretenden Strahlen addiert werden, um ein Diagramm auf einer genormten CIE-Farbkarte (CIE = Commission International

35

de l'Eclairage) zu erzeugen, die darstellt, wie sich die wahrgenommene Farbe mit dem Blickwinkel ändert. Die Karte ist in Fig. 11 wiedergegeben. In einem Blickwinkelbereich von  $80^\circ$  (plus oder minus  $40^\circ$  gegenüber der Normalen zur Polymerschichtoberfläche 9) ändert sich die wahrgenommene Farbe nur wenig. Im vorliegenden Fall erzeugt die Beugungsstruktur 100 bei diffuser Beleuchtung eine gelbe Farbe. Durch Änderung der Facettenwinkel (d.h. des Winkels einer Facette 2 zur Polymerschichtoberfläche 9) und der Periode  $d$  des Beugungsgitters 5 können verschiedene Farben erzeugt werden.

Durch die Erfindung ergibt sich daher eine Farbenbeugungsstruktur 100, die bei Betrachtung in diffusem Licht über einen großen Blickwinkelbereich eine gesättigte Farbe beibehält.

Die Struktur 100 kann durch herkömmliche Rillen- oder Furchenbildungsverfahren auf einer großen Fläche hergestellt und in einer kontinuierlichen Polymerfolie durch einen einstufigen Prägevorgang, in ähnlicher Weise wie bei der Herstellung von Hologrammen, abgeformt werden.

Die Farbe hängt hauptsächlich von den Facettenwinkeln und der Teilung des Beugungsgitters ab, die sich beide durch Abnutzung kaum ändern. Die Beugungsstruktur 100 ist daher ideal zur Herstellung großer Mengen an Material. Die Beugungsstruktur 100 ist besonders zur Herstellung von Sicherheitsfolien geeignet, beispielsweise von Kredit- oder Debitkarten, bei denen sehr viele weitgehend identische Beugungsstrukturen 100 erforderlich sind.

Vorstehend ist eine Ausführungsform der Erfindung unter besonderer Bezugnahme auf die dargestellten Beispiele

07.03.02  
-15-

beschrieben worden. Es sei jedoch darauf hingewiesen,  
daß Änderungen und Abwandlungen der beschriebenen Bei-  
spiele im Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung lie-  
gen.

BEST AVAILABLE COPY



96 941 141.2  
EP 0 865 616

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Beugungsstruktur mit einem weitgehend ebenen Substrat (1) und einem Satz Facetten (2), die in oder auf dem Substrat (1) ausgebildet sind, wobei die Ebene oder Ebenen, in denen die Facetten (2) liegen, unter einem von Null abweichenden Winkel zur Ebene des Substrats (1) angeordnet sind und die Facetten (2) ein darauf ausgebildetes Beugungsgitter (5) aufweisen, wobei das Verfahren die folgenden Schritte beinhaltet:
  - 10 A) das Herstellen einer Form durch anisotropes Ätzen eines Siliciumsubstrats zur Ausbildung einer Vielzahl von Facetten auf der Form;
  - B) das Beschichten der Form mit einer Abdeckungsschicht;
  - 15 C) das Einschreiben der Feinstruktur des Beugungsgitters unmittelbar in die Abdeckung mittels eines Elektronenstrahls oder eines Ionenstrahls;
  - D) das Herstellen einer Matrix aus der Form und

- E) das Herstellen des Beugungsgitters aus der Matrix.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Matrix durch  
5 Elektroformung der Form hergestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Beugungsstruktur durch Thermoformung der Matrix hergestellt wird.
- 10 4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem ferner die Facetten der Beugungsstruktur mit einer Metallschicht überzogen werden.
- 15 5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Metallschicht über dem Beugungsgitter auf den Facetten diskontinuierlich ist.
- 20 6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Facetten (2) weitgehend in derselben Ebene liegen.
- 25 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Facetten (2) in weitgehend parallelen Ebenen liegen.
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem die Facetten (2) in weitgehend regelmäßig beabstandeten parallelen Ebenen liegen.
- 30 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Struktur einen zweiten Satz Facetten (2) aufweist, die weitgehend in einer zweiten Ebene

oder zweiten Ebenen liegen, die einen endlichen Winkel sowohl mit dem ersten Satz Facetten (2) als auch der Ebene des Substrats (1) einschließen, so daß der erste Satz und der zweite Satz Facetten  
5 einander weitgehend gegenüberliegen.

10. Verfahren zur Herstellung einer Beugungsstruktur, die eine erste Reihe Facetten (2), die in weitgehend der gleichen ersten Ebene liegen, und eine  
10 zweite Reihe Facetten (2) aufweist, die in weitgehend der gleichen zweiten Ebene liegen, wobei die zweite Ebene einen Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  mit der ersten Ebene einschließt, so daß die erste Reihe Facetten (2) und die zweite Reihe Facetten (2)  
15 einander gegenüberliegen, wobei auf jeder Facette (2) ein Beugungsgitter (5) ausgebildet ist und das Verfahren folgende Schritte beinhaltet:

- 20 A) das Herstellen einer Form durch anisotropes Ätzen eines Siliciumsubstrats zur Ausbildung einer Vielzahl von Facetten auf der Form;
- B) das Beschichten der Form mit einer Resist-Schicht;
- C) das Schreiben der Feinstruktur des Beugungsgitters unmittelbar auf dem Resist mittels eines  
25 Elektronenstrahls oder eines Ionenstrahls,
- D) das Herstellen einer Matrix aus der Form und
- E) das Herstellen der Beugungsstruktur aus der Matrix.

30 11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die ersten Facetten (2) und die zweiten Facetten (2) weitgehend parallel sind.

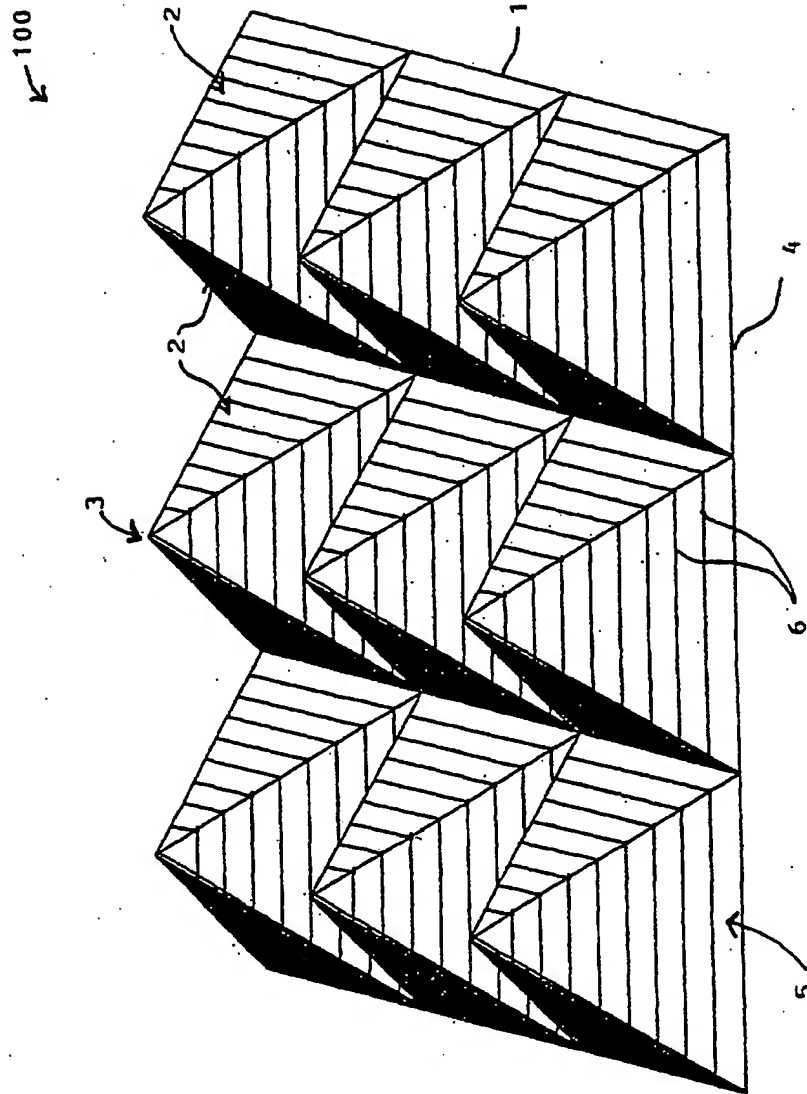
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, das weitere Reihen aus Facetten (2) umfaßt, die jeweils in Ebenen liegen, die sich weitgehend senkrecht zur ersten Ebene erstrecken.
- 5
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, das weitere Reihen aus Facetten (10) umfaßt, die jeweils in Ebenen liegen, die weitgehend parallel zur ersten Ebene sind.
- 10
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem die Facetten (2) in oder auf einem weitgehend planaren Substrat (1) ausgebildet sind, wobei die Ebenen, in denen die Facetten (2) liegen, einen
- 15 Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  mit der Ebene des Substrats einschließen.
15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Facetten (2) durch die Flächen einer
- 20 Pyramide (3) mit quadratischer Grundfläche, eines Kubus, einer Ekkubusstruktur oder eines Tetraeders gebildet sind.
16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Beugungsgitter (5) durch eine Reihe von
- 25 quer über die Facetten (2) verlaufenden Rillen (6), ein gekreuztes Gitter auf den Facetten (2) oder eine Reihe von Vertiefungen und Spitzen auf den Facetten (2) gebildet ist.
- 30
17. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die typische Periodizität des Beugungsgit-

ters (5) kleiner als eine Wellenlänge des sichtbaren Lichts ist.

- 5 18. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
bei dem das Volumen zwischen den Facetten (2) mit  
einem transparenten Material (7) gefüllt ist.
- 10 19. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
bei dem die Facetten (2) auf einem polymeren Material  
ausgebildet sind, das von einer Metallschicht  
überzogen ist.
- 15 20. Verfahren nach Anspruch 19, bei dem die Metall-  
schicht über dem Beugungsgitter (5) auf den Facet-  
ten (2) diskontinuierlich ist.
21. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
bei dem das Beugungsgitter eine Periodizität zwi-  
schen 100 nm und 500 nm hat.

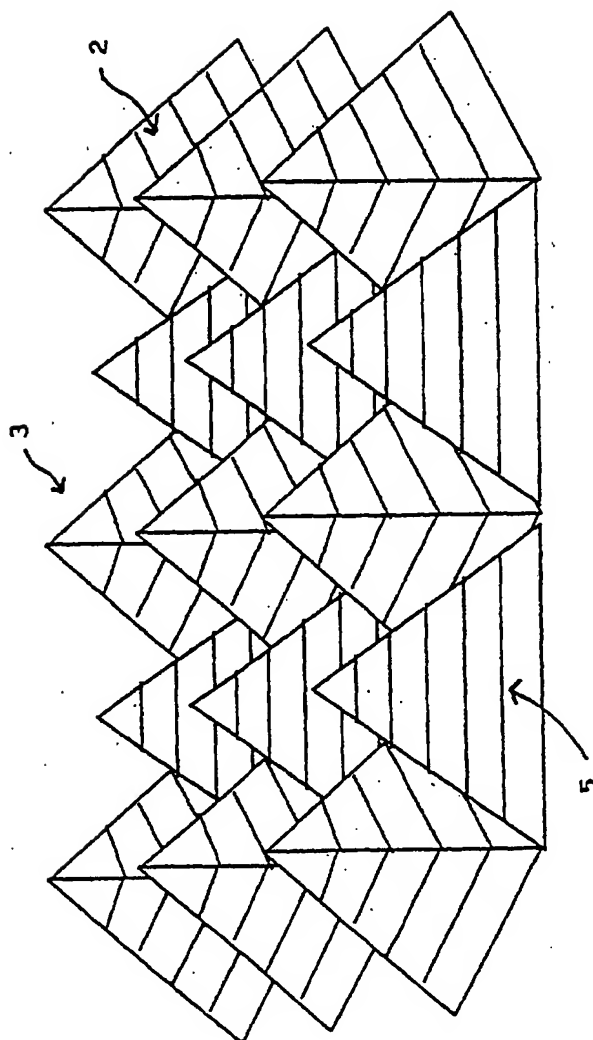
20

Figur 1

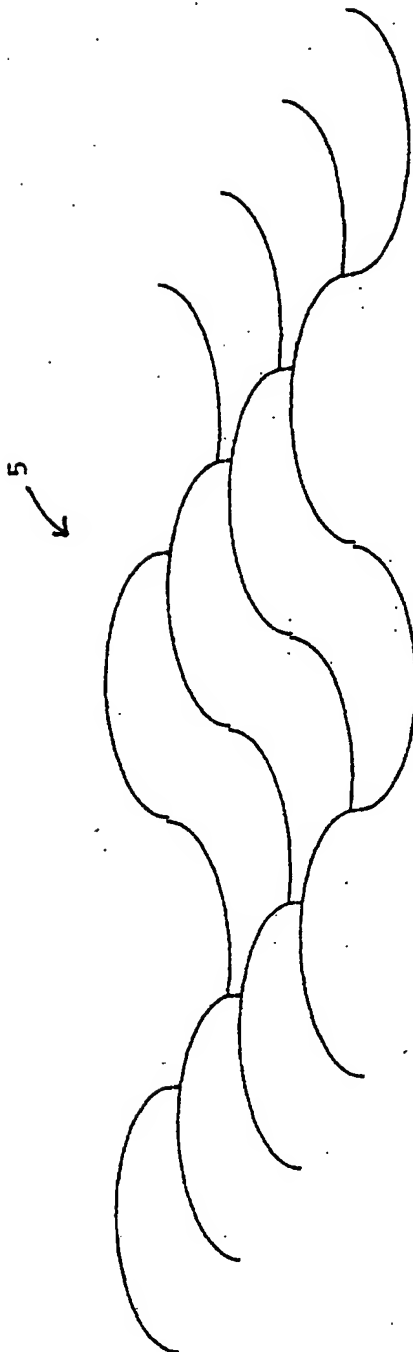


BEST AVAILABLE COPY

Figur 2

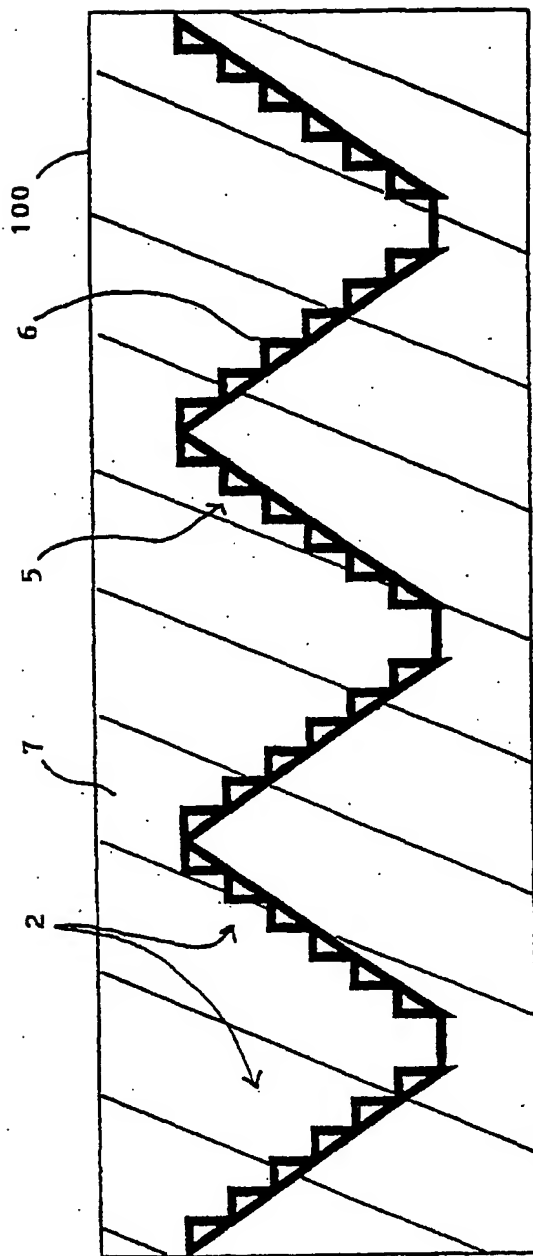


Figur 3

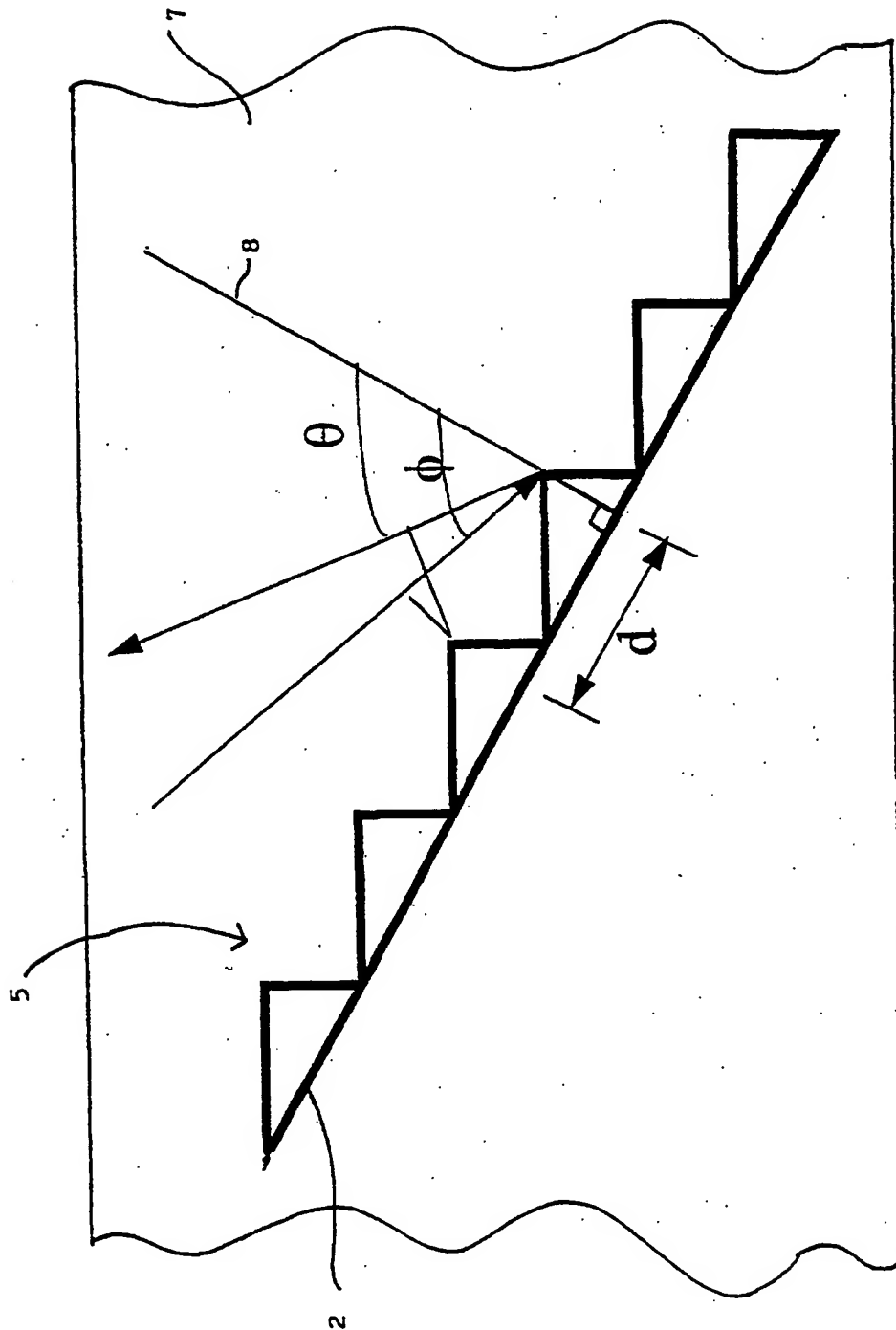




Figur 4



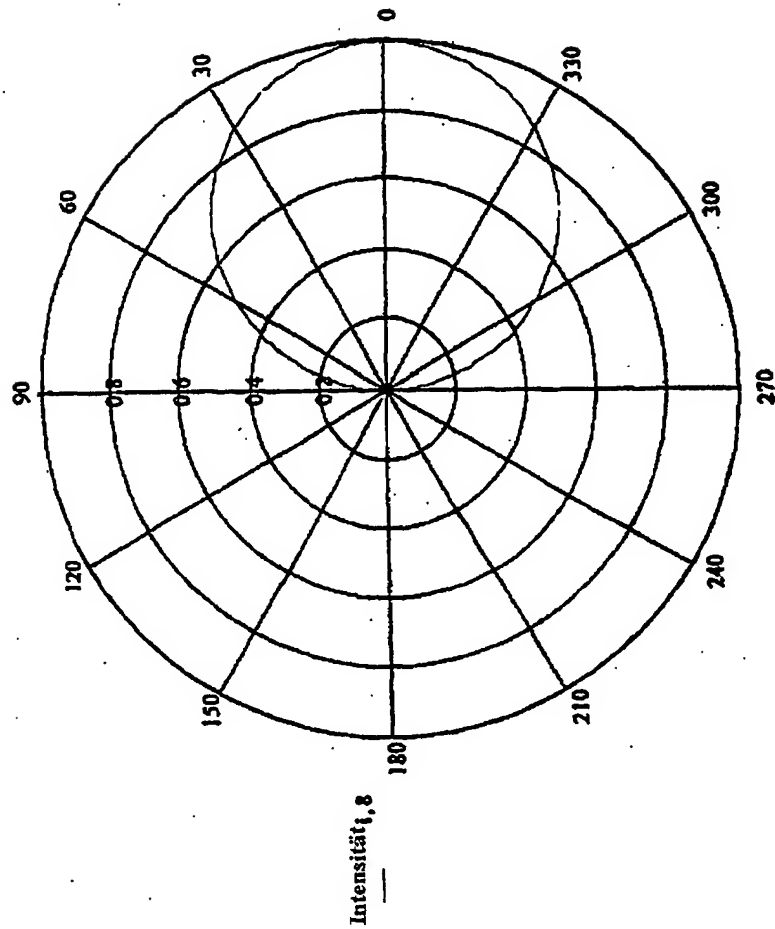
Figur 5



07.03.02

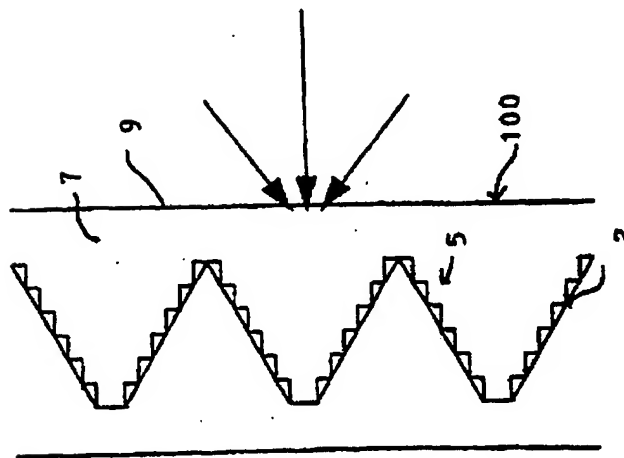
- 26 -

Figur 6



Einfallswinkel auf das Beugungsgitter, multipliziert mit  $2\pi$

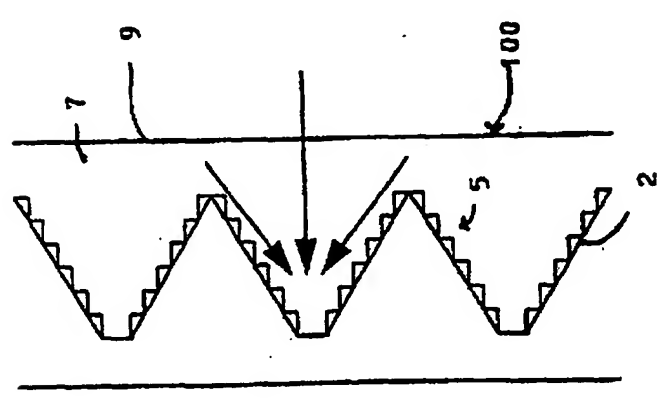
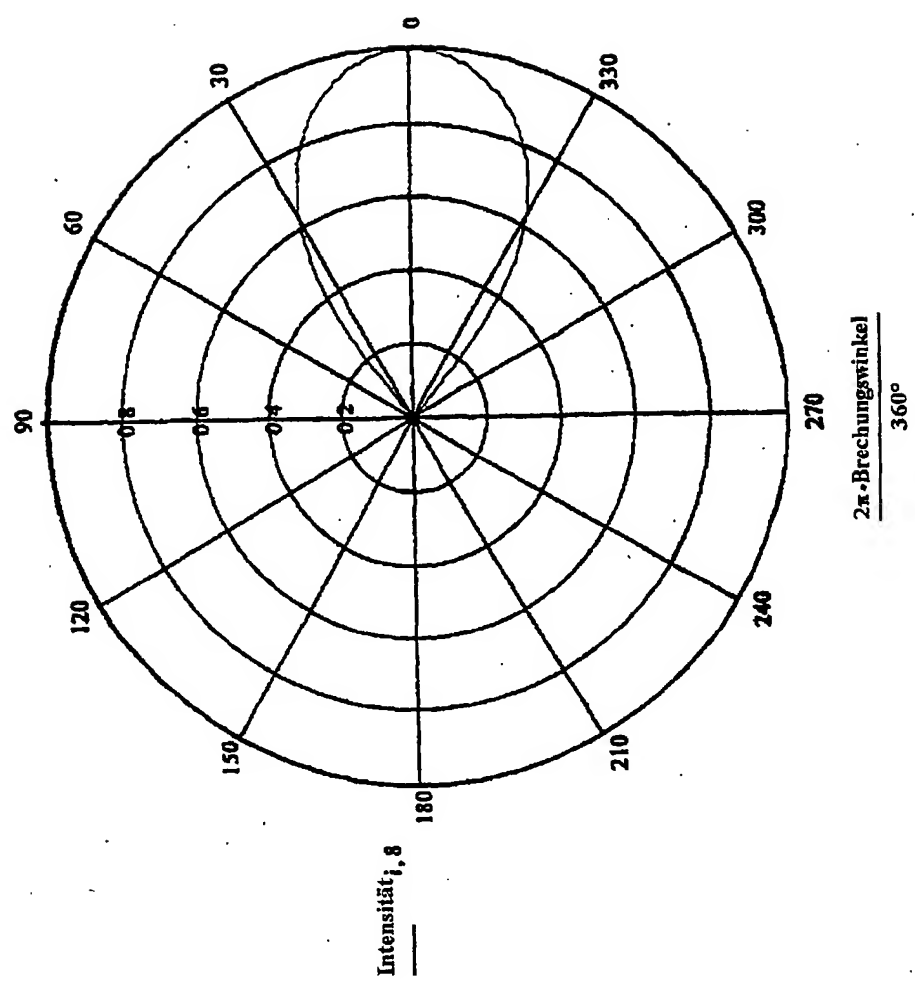
360°



BEST AVAILABLE COPY

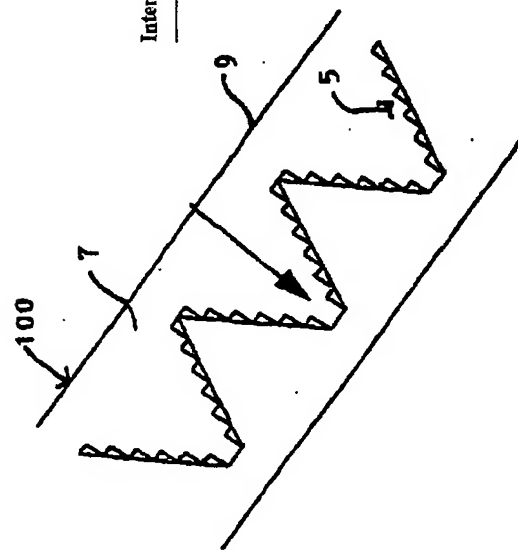
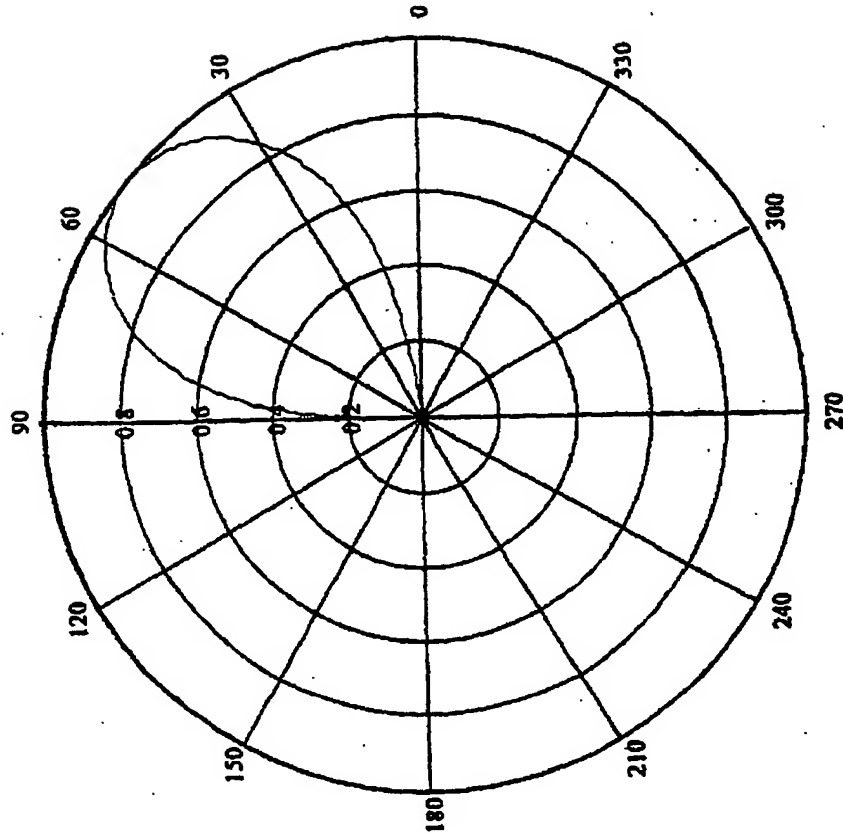
07.03.02  
27.

Figur 7



BEST AVAILABLE COPY

Figur 8



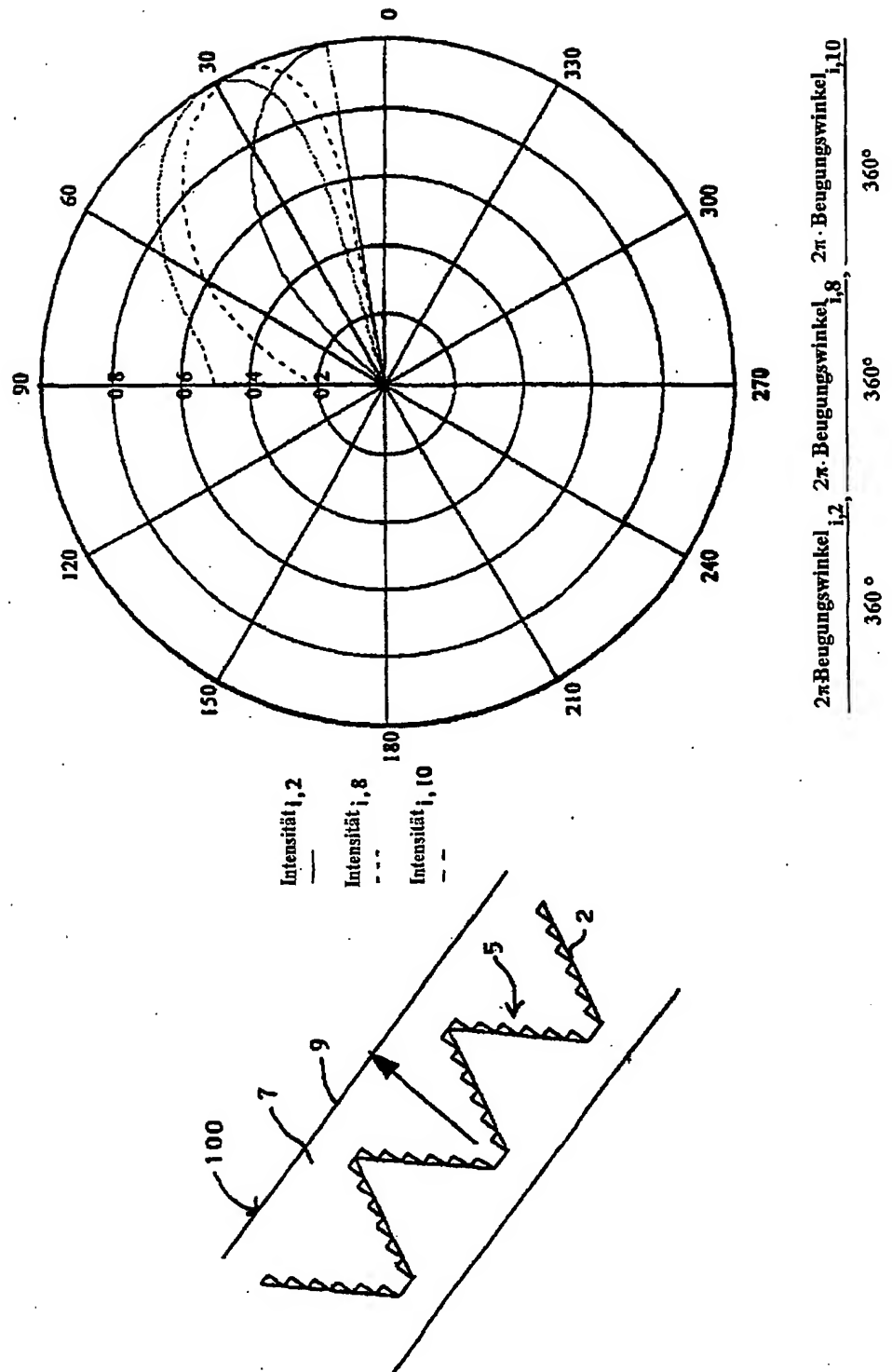
Intensität, 8

Einfallswinkel auf das Beugungsgitter, multipliziert mit  $2\pi$

360°

07.03.02

Figur 9

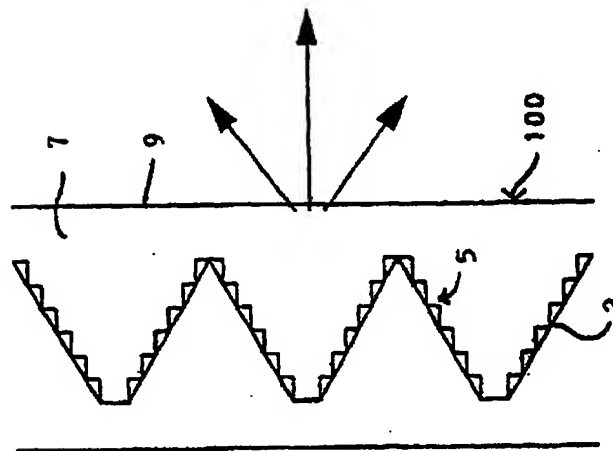
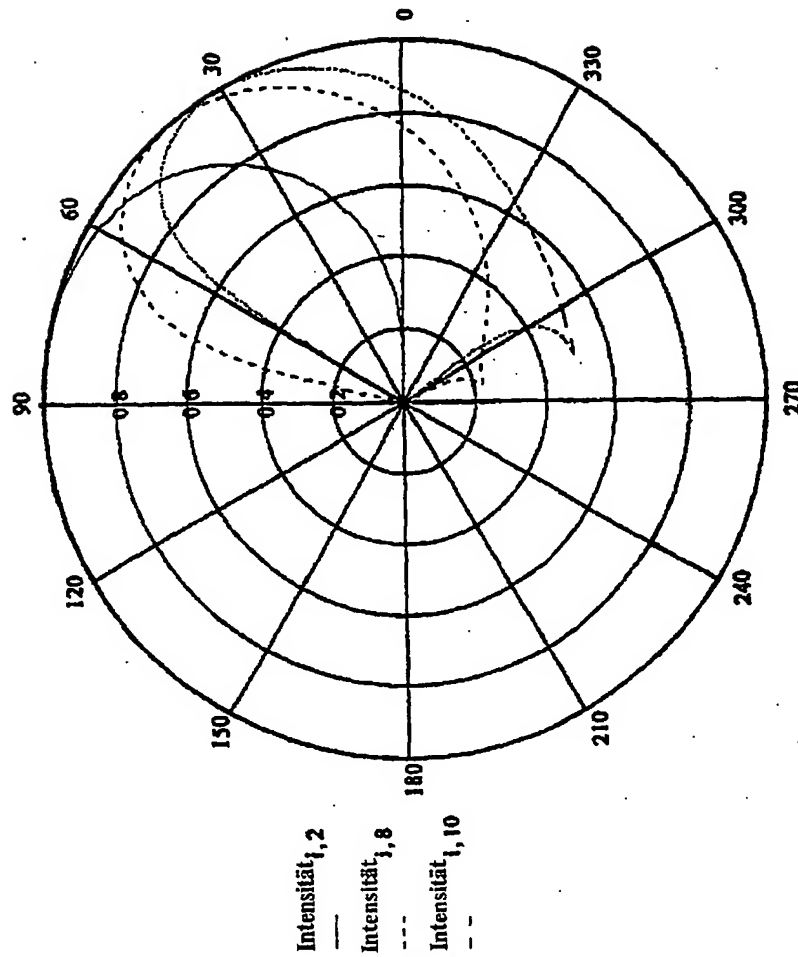


BEST AVAILABLE COPY

07.03.02

- 30 -

Figur 10

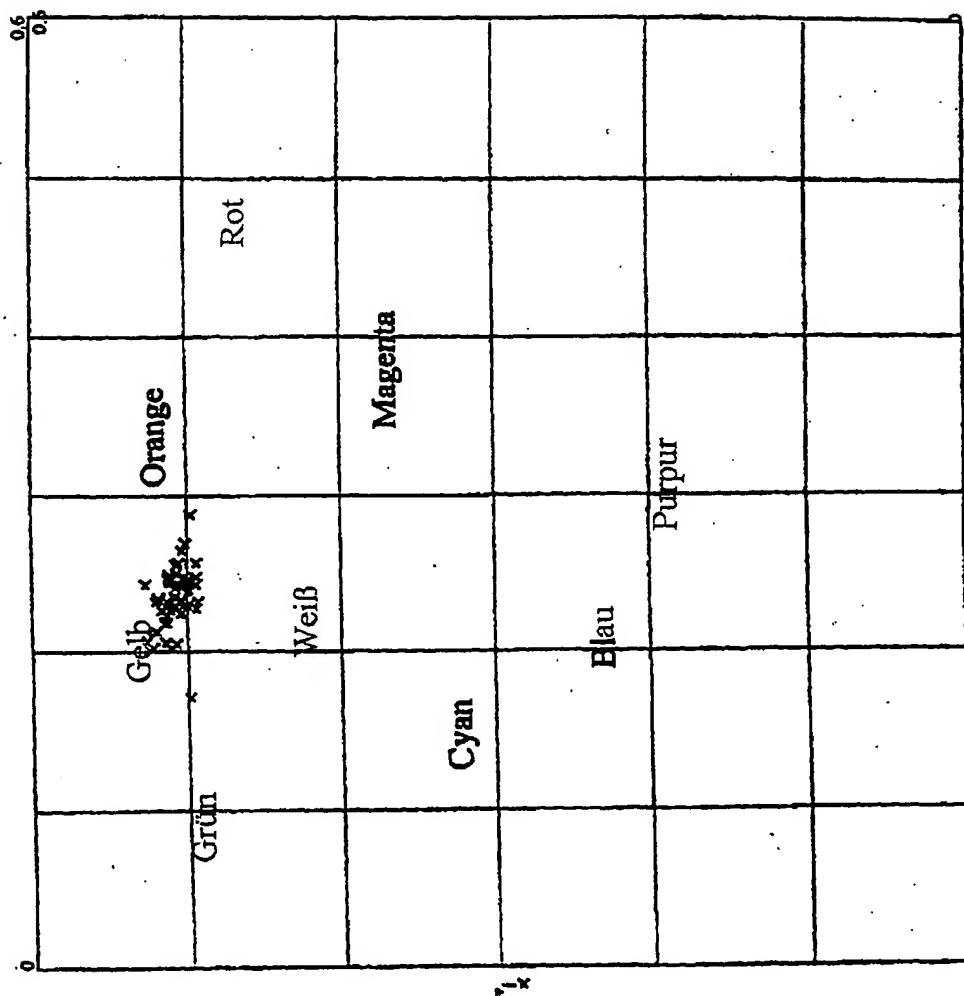


$\frac{2\pi}{360}$  Ausfallwinkel  $i_{1,2}$ ,  $\frac{2\pi}{360}$  Ausfallwinkel  $i_{1,8}$ ,  $\frac{2\pi}{360}$  Ausfallwinkel  $i_{1,10}$

BEST AVAILABLE COPY

07-03-02

Figur 11



BEST AVAILABLE COPY